عملکرد لرزه‌ای دیوارهای آجری*

فریدون ایرانی[۱]		محسن علی اکبریان[۲]

چکیده *در این مقاله دیوارهای باربر ساختمان‌های آجری به عنوان عناصر اصلی لرزه‌بر در ساختمان‌های آجری مورد مطالعه‌ی تئوریک قرار گرفته‌است. یک نمونه از دیوارهای مندرج در مرجع [1] به صورت غیر مسلح به عنوان نمونه شاهد و جهت کنترل روند و صحت مدل‌سازی در نظر گرفته شده است و به همراه دو نمونه‌ی مسلح و کلاف‌بندی شده بر اساس ضوابط توصیه شده در استاندارد طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، تحت اثر بارهای ثقلی و بار جانبی رفت و برگشت (تناوبی)، مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیر خطی شده‌اند. پس از تحلیل نمونه‌ها و بررسی نتایج، مشخص گردید که دیوارهای آجری مسلح در برابر بارهای جانبی، دارای رفتار شکل پذیرتری هستند. هم‌چنین، مطالعه‌ی الگوی ترک‌خوردگی کلیه‌ی دیوارها نشان می‌دهد که ضعف عمده‌ی دیوارهای آجری که متناسب با شرایط و شیوه‌های ساخت و ساز در کشور ساخته می‌شود، کمبود مقاومت برشی است. بررسی رفتار چرخه‌ای (هیسترزیس) دیوارها نیز گویای این واقعیت است که در دیوارهای آجری کلاف‌بندی شده، وجود کلاف‌ها و در دیوار آجری مسلح، وجود میل‌گردهای افقی و قائم، باعث افزایش شکل‌پذیری و سختی دیوار می‌گردد.*

واژه‌های کلیدی دیوار آجری غیر مسلح، دیوار آجری مسلح، دیوار آجری کلاف‌دار، نیروی لرزه‌ای

Seismic Behavior of Brick Walls

F. Irani		M. Ali. Akbarian

Abstract *In this paper, brick walls as seismic load carrying elements in masonry buildings have been studied. An experimented un-reinforced brick wall (UBW) has been chosen from ref.(1) to prove the ability of analytical modeling used in this paper by which a reinforced (RBW) and a confined brick wall (CBW), designed according to Iranian Earthquake Standards, have been modeled and nonlinearly analyzed. This analysis shows that UBW practically is not able to resist horizontal loads. According to the type and direction of cracks in UBW constructed by conventional methods, it is clear that these walls do not have sufficient shear strength, and the study of hysteresis curves of brick walls shows that the confinement in CBW and reinforcement in RBW increases the rigidity and capability to displacement of walls.*

Key Words Un-Reinforced Brick Wall, Reinforced Brick Wall, Confined Brick Wall, Seismic Load.

---

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸۶/۶/۳۰ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۸/۱۰/۲۸ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، استاد، گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) کارشناس ارشد سازه، گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

تاریخچه‌ی زلزله‌های اخیر کشورمان نشان می‌دهد که از اوایل این قرن، تقریباً هر ده سال، یک زلزله‌ی مخرب داشته‌ایم که منجر به تخریب گسترده‌ی منازل ومرگ ساکنین آن و خسارت‌های عمده‌ی اقتصادی شده‌است. بررسی عملکرد سازه‌های مختلف در این زلزله‌های مخرب، گواه آن است که اگر ساختمان‌های آجری را در یک کفه و سازه‌هایی نظیر: پل، سوله، سد، تونل و... در کفه‌ی دیگر بگذاریم، آمار تلفات جانی و تخریب کامل بنا، تقریباً تماماً به گروه اول تعلق داشته و گروه دوم به طور نسبی، آمار بسیار پایینی دارد. این وضعیت، عمدتاً از انهدام ساختمان‌های آجری (و یا خشتی و سنگی) ناشی می‌شود که نوع غالب در معماری شهری و روستایی ماست[۲].

برای تعیین مقاومت دیوارهای آجری پژوهش‌هایی به عمل آمده است و پرفسور هندری (Hendry) [3] مروری کلی بر آن کرده است. در سال ۱۹۸۸ شینگ (Shing) و هم‌کارانش با هدف دستیابی به روابطی برای محاسبه‌ی مقاومت و شکل‌پذیری، دیوارهای برشی بنایی مسلح را مورد آزمایش قرار دادند [4]. همچنین لاربی (Larbi) و هریس (Harris) ۱۹۹۰، مطالعه‌ی جامعی بر روی‌دیوارهای بنایی‌ساخته‌شده از بلوک انجام دادند [5].

در سال ۱۹۹۱، مگنز (Magenes) و کالوی (Calvi)، مطالعه‌ای آزمایشگاهی بر روی پنج دیوار آجری در مقیاس کامل انجام داده و به بررسی اثر نسبت ارتفاع به طول دیوار پرداختند[6].

در سال ١٩٩٤ یان کلوفسکی (Jan Kolovski) و هم‌کارانش روابط تئوری برای محاسبه‌ی حداکثر بار جانبی درون صفحه‌ای دیوارهای مورد مطالعه ارائه کردند [7].

در سال ۱۹۹۵، یوشی مورا (Yoshimura) به اتفاق هم‌کارانش اثر میل‌گردهای افقی و قائم را بر رفتار لرزه‌ای دیوارهای بنایی‌کلاف‌بندی‌شده‌بررسی کردند [8].

در سال ۲۰۰۱ جیوردانو (Giordano) و دی لوکا در پژوهشی قابلیت روش‌های عددی مختلف را برای تحلیل سازه‌های بنایی بررسی کردند ونشان دادند می‌توان به‌طور مؤثری از این روش‌ها برای مطالعه‌ی رفتار این سازه‌ها استفاده کرد [9].

همچنین پادوانی(Padovani)و هم‌کارانش(۲۰۰۳)، برج ناقوسی تاریخی را با استفاده از روش‌های عددی تحلیل کردند و بامشاهده‌ی الگوی ترک‌خوردگی یکسان با واقعیت،به کاربرد ابزار برای درک بهتر رفتار سازه‌های بنایی و نیز نقش مهم مدل‌سازی عددی در پروسه‌ی بازسازی ومقاوم‌سازی بناهای تاریخی تأکید کردند [10].

روش حل

در این مقاله با توجه به این موضوع که مدل‌سازی عددی دیوارهای مختلف آجری و مقایسه‌ی رفتاری آن‌ها مورد نظر بوده و بررسی سازه‌ی خاصی در نظر نمی‌باشد، دیوارهای آجری موجود در مرجع [۱]، به علت کامل‌تر بودن اطلاعات آن نسبت به سایر کارهای آزمایشگاهی موجود، انتخاب و تحت اثر بارهای ثقلی و جانبی مورد تحلیل دینامیکی غیر خطی قرار گرفت.

برای مدل‌سازی مصالح آجر و بتن، از المان سه بعدی حجمی، و برای مدل‌سازی میل‌گردها از المان میله‌ای سه‌بعدی استفاده شده است. برای تعریف رفتار غیر خطی مصالح آجر و بتن از معیارهای گسیختگی دراکر- پراگر و Concr استفاده شده و بارگذاری جانبی تا زمان افت منحنی چرخه‌ای بارجانبی- تغییر مکان به علت رفتار پس‌ماند کاهنده‌ی مصالح به‌کار رفته، به شیوه‌ی کنترل بار و پس از آن به طریقه کنترل تغییر مکان اعمال شد.

روش تحلیل سازه‌های خطی تحت بارهای دینامیکی اختیاری، عمدتاً یکی از دو روش انتگرال دوهامل یا تحلیل در حوزه‌ی فرکانس می‌باشد؛ لکن چون در استخراج هر دو روش از اصل روی‌هم‌گذاری استفاده شده است، لذا این روش‌ها در دستگاه‌های غیر خطی کاربرد نداشته و می‌بایست از روش انتگرال‌گیری قدم به

قدم برای حل استفاده گردد. طبیعت غیر خطی دستگاه از طریق محاسبه‌ی خواص جدید متناسب با وضعیت تغییر شکل یافته‌ی آن در شروع هر جهش زمانی، ملحوظ می‌گردد.

مدل دیوار و مسائل مورد بحث

در این مقاله دیوارهایی به ارتفاع ۲ متر، طول ۳ متر و ضخامت ۲۲ سانتی‌متر و در سه نوع دیوار: آجری غیر مسلح (UBW)، آجری مسلح (RBW) و آجری کلاف‌بندی شده (CBW) مطابق با ضوابط توصیه شده در استاندارد طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله‌ی ۲۸۰۰ ساخته، مسلح وکلاف‌بندی شده‌اند. فرض شده است که این دیوارها، دیوار باربر مربوط به یک ساختمان آجری یک طبقه بوده که سطح بارگیر آن ٤ متر می‌باشد در عمل با فرض بار مرده بام ٦,٢ کیلو نیوتن بر مترمربع و سربار برف (بار زنده) ١,٩٦ کیلو نیوتن بر مترمربع، بار قائم وارد بر چنین دیواری برابر ٣٢,٦٤ کیلو نیوتن بر مترمربع تعیین گردید. در تمامی مراحل، مدل‌سازی دیوار آجری مسلح به عنوان نمونه شاهد اختیار شده و انتخاب تراکم المان‌های به‌کار رفته در مدل‌ها، کنترل روند مدل‌سازی و راست‌آزمایی تحلیل‌ها به کمک این نمونه انجام گرفته است.

برای انجام مدل‌سازی عددی و انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، از برنامه‌ی اجزاء محدود9 Ansys استفاده شده است. برنامه‌ی Ansys با ۱۸۱ نوع المان با قابلیت‌های متفاوت سال‌هاست که به عنوان یک برنامه‌ی راه بردی برای حل بسیاری از مسائل مهندسی مورد استفاده قرار دارد؛ لیکن برای تشخیص درست نوع المان و روش حل صحیح، ناگزیر از شناسایی قابلیت‌ها و خواص موجود در المان‌ها و نیز نتایج خروجی مربوط به هر المان می‌باشیم. برای تحلیل مسأله‌ی فوق از المان‌های زیر استفاده گردید:

- **المان سه بعدی Solid 65** : که یک المان هشت گرهی با سه درجه‌ی آزادی انتقالی در هر گره و متشکل از یک مصالح پایه و حداکثر سه ماده‌ی مسلح کننده به صورت مستقل از یکدیگر می‌باشد و در مدل‌سازی اجسام حجمی مسلح و غیر مسلح به کار می‌رود. این المان، دارای خواص پلاستیسیته، ترک‌خوردگی در سه جهت عمود بر هم، خردشدگی، خزش، تغییر شکل‌ها و کرنش‌های بزرگ و سخت شدگی تنش می‌باشد.
- **المان میله‌ای Link 8** : که یک المان دو گرهی با کاربرد در بسیاری از مسائل مهندسی است. بسته به کاربردش می‌تواند یک المان خرپایی، المان کابلی، المان رابط و یا غیره تصور شود. این المان قابلیت پلاستیسیته، خزش، تورم و سخت شدگی تنش را داراست و در هر گره می‌تواند سه درجه آزادی انتقالی داشته باشد.

خواص مهندسی مصالح مورد استفاده در این پژوهش، عمدتاً از آزمایش و از مراجع مختلف به دست آمده و مطابق جدول زیر می‌باشد:

جدول ۱ خواص مهندسی مصالح[۱]

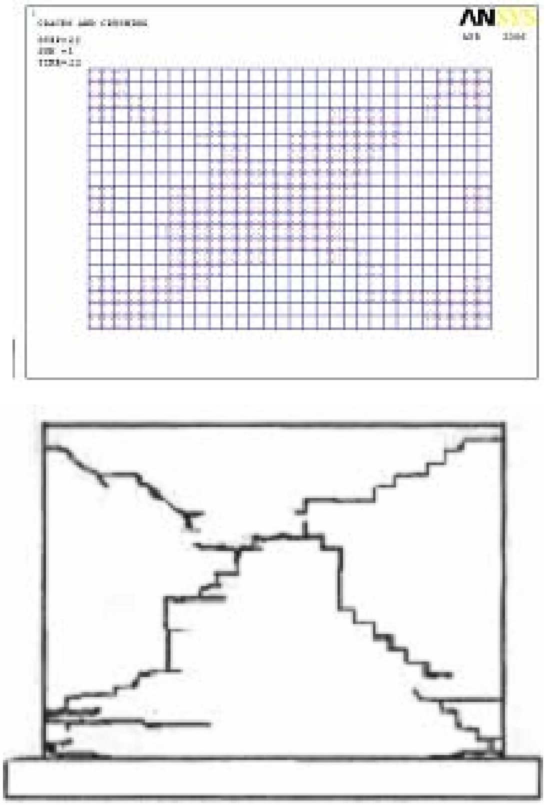
مقاومت فشاری واحد آجرکاری (Mpa)	٨/٤٧
مقاومت کششی واحد آجرکاری (Mpa)	٠/٤٩٢
ضریب پوآسون	٠/٢
وزن مخصوص آجرکاری (kg/m^3)	١٨٥٠
ضریب ارتجاعی (Mpa)	١٥٥٠
مقاومت چسبندگی برشی (Mpa)	٠/٢١٣
زاویه‌ی اصطکاک داخلی	٢٧/٣٨°
مقاومت جاری شدن فولاد (Mpa)	٣٢٠
مقاومت فشاری بتن (Mpa)	٢٧ /٧

مدل‌سازی

در مراحل مقدماتی مدل‌سازی، اجزاء محدودی نیاز به مش‌بندی دارد. به عبارت دیگر، مدل به تعدادی المان کوچک‌تر تقسیم می‌شود و پس از بارگذاری، پاسخ سازه در نقاط ائتلاف این المان‌های کوچک (گره‌ها) محاسبه می‌شود.

یکی از مراحل مهم در مدل‌سازی، انتخاب تراکم این المان‌هاست. هم‌گرایی مطلوب نتایج، زمانی حاصل می‌شود که تعداد کافی المان در مدل استفاده شود و با افزایش تراکم المان‌ها، تغییری در نتایج رخ ندهد. برای انتخاب این تراکم، نمونه شاهد به وسیله‌ی دو برنامه، اجزاء محدود عمومی Sap2000 وAnsys با خصوصیات

مصالح یکسان و در ازای مقادیر مختلف المان، مدل‌سازی و مورد تحلیل استاتیکی خطی قرار گرفت. زمانی‌که از ۶۰۰۰ المان در ساخت مدل‌ها استفاده گردید، هم‌گرایی مناسبی در مقادیر پارامترهای مورد نظر (تنش، کرنش و تغییر مکان در نقاط خاص) مشاهده گردید.

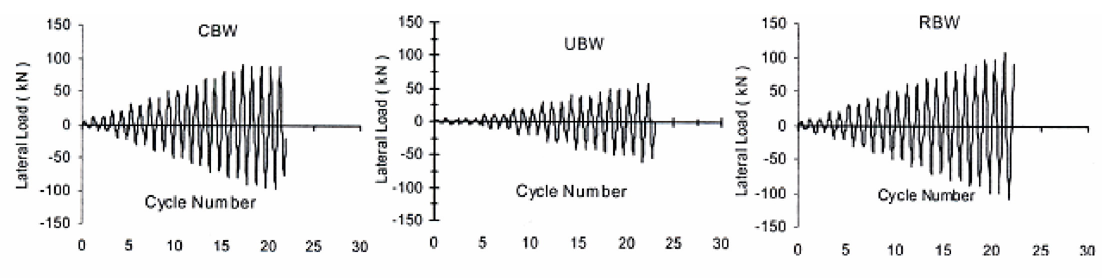


شکل ۱ الگوهای ترک خوردگی دیوار آجری غیر مسلح حاصل ازتحلیل و آزمایش

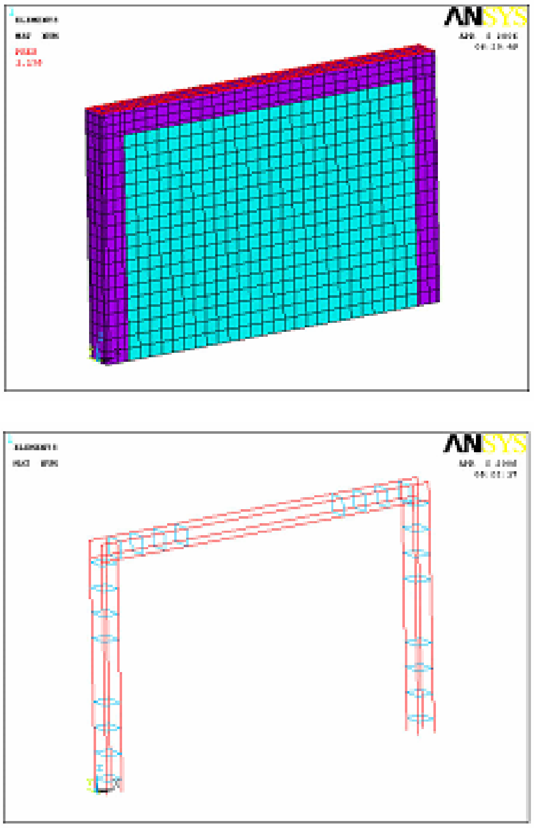
مهم‌ترین نکته در انجام یک تحلیل کامپیوتری، کنترل روند مدل‌سازی و راست‌آزمایی نتایج تحلیل می‌باشد. برای این منظور در این تحقیق، منحنی پوش مقاومت برای نمونه دیوار آجری غیر مسلح بر اساس نتایج حاصل از آزمایش [۱] ترسیم، و به وسیله‌ی یک منحنی سه خطی، ایده‌آل‌سازی شد. مقادیر حدی بار جانبی حد ارتجاعی (ترک خوردگی)، مقاومت ماکزیمم، بار جانبی نهایی و تغییر مکان‌های متناظر با آن‌ها از این منحنی برداشت و با مقادیر مشابه نمونه‌ی تحلیلی مقایسه شد که بیشترین اختلاف، مربوط به بار جانبی ترک خوردگی به میزان ۸/۹ ٪ و به میزان قابل قبولی می‌باشد. همچنین مقایسه‌ی الگوی ترک‌خوردگی ارائه شده برای نمونه‌ی آزمایشگاهی دیوار آجری غیر مسلح [۱]، و نمونه شاهد حاصل از تحلیل، حکایت از انطباق بسیار خوب این الگو دارد که خود مهر تأیید دیگری بر صحت روند مدل‌سازی دارد. این انطباق در شکل (۱) قابل ملاحظه است.

پس از کنترل روند مدل‌سازی و اطمینان از صحت آن، ساخت مدل سایر دیوارها با رعایت همان شیوه‌ی مدل‌سازی به کار رفته در دیوار آجری غیر مسلح انجام گرفته است و نمونه‌ها تحت اثر بار ثقلی ثابت و بار جانبی رفت و برگشتی مطابق الگوی شکل (۲)، مورد تحلیل دینامیکی غیر خطی قرار گرفتند.

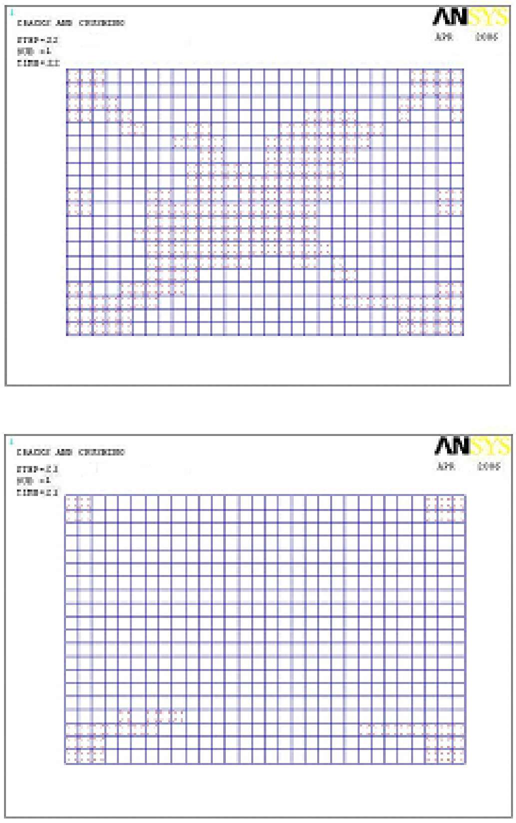
به عنوان نمونه، مدل ساخته شده برای نمونه دیوار آجری کلاف‌بندی شده در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۲ الگوی بار اعمالی تناوبی اعمال شده به نمونه‌های مختلف [۱]



شکل ۳ مدل اجزاء محدود دیوار آجری کلاف‌بندی‌شده و میل‌گرد گذاری کلاف‌ها



شکل ٤ ترک‌خوردگی‌نمونه UBW دردوره های متوالی‌والگوی شکست

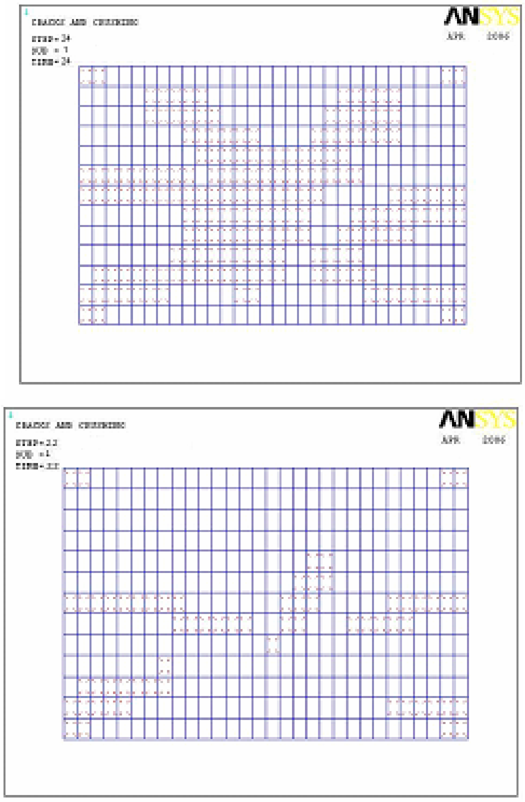
بررسی نتایج

ترک خوردگی. قبل از اعمال بار جانبی، بارهای قائم به صورت مستقل به دیوارها اعمال و اثر آن ثبت گردید. تنش فشاری ایجاد شده در دیوارهای مورد مطالعه به مراتب کم‌تر از مقاومت فشاری مصالح آن‌ها بود و با اعمال بار قائم، هیچ‌گونه ترک یا شکستگی در نمونه‌ها مشاهده نشد وکلیه‌ی ترک‌ها و شکستگی‌های ایجاد شده در دیوارها، مربوط به بارگذاری جانبی بوده است.

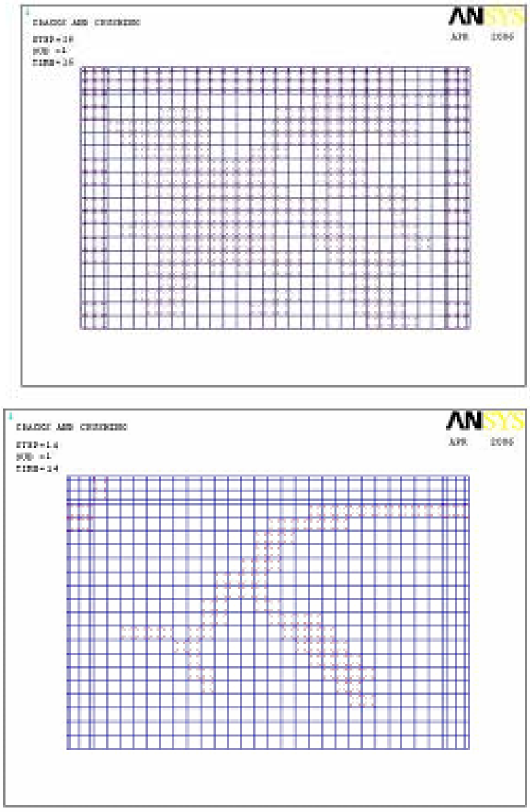
در نمونه‌ی دیوار آجری غیر مسلح از ابتدا تا پایان دوره‌ی بیستم که میانگین بار رفت و برگشت ٤۹/۹ کیلونیوتن بود، هیچ‌گونه ترک قابل رؤیت ایجاد نشد. از دوره‌ی بیست و یکم و در ازای بار ۵۸/۸ کیلو نیوتن، ترک‌خوردگی‌هایی در دیوار مشاهده شد. پس از آن در دوره‌ی بیست و دوم و با اعمال بار تا تغییر مکان ۱۰/۲ میلی متر، ترک‌خوردگی‌ها افزایش یافته و در مرحله‌ی برگشت این دوره با افزایش تغییر مکان‌ها، تحلیل متوقف شد. این مرحله را می‌توان مرحله‌ی شکست دیوار تلقی نمود. در شکل (٤) ترک‌خوردگی این مدل در دوره‌های متوالی و الگوی شکست آن آورده شده است. بروز ترک‌های قطری در این نمونه، جلب توجه می‌کند.

در دیوار آجری مسلح شروع ترک خوردگی در مرحله‌ی رفتِ دوره‌ی چهاردهم و متناظر با بار ٦۹/۳ کیلو نیوتن اتفاق افتاد.

از دوره چهاردهم تا دوره بیست و دوم، ترک‌ها بدون طی روند خاص و به‌طور پراکنده به مقدار کم در بیشتر قسمت‌های دیوار رخ داد و سرانجام در پایان دوره‌ی بیست و پنجم و در بار جانبی ۱۱۷/٤ کیلو نیوتن، به علت ایجاد تغییر، مکان زیاد اجرای برنامه متوقف گردید. پراکندگی ترک‌خوردگی و عدم رعایت روند مشخص در شکل (۵) جلب توجه می‌کند.



شکل ۵ ترک خوردگی نمونه‌ی RBW در دوره‌های متوالی و الگوی شکست

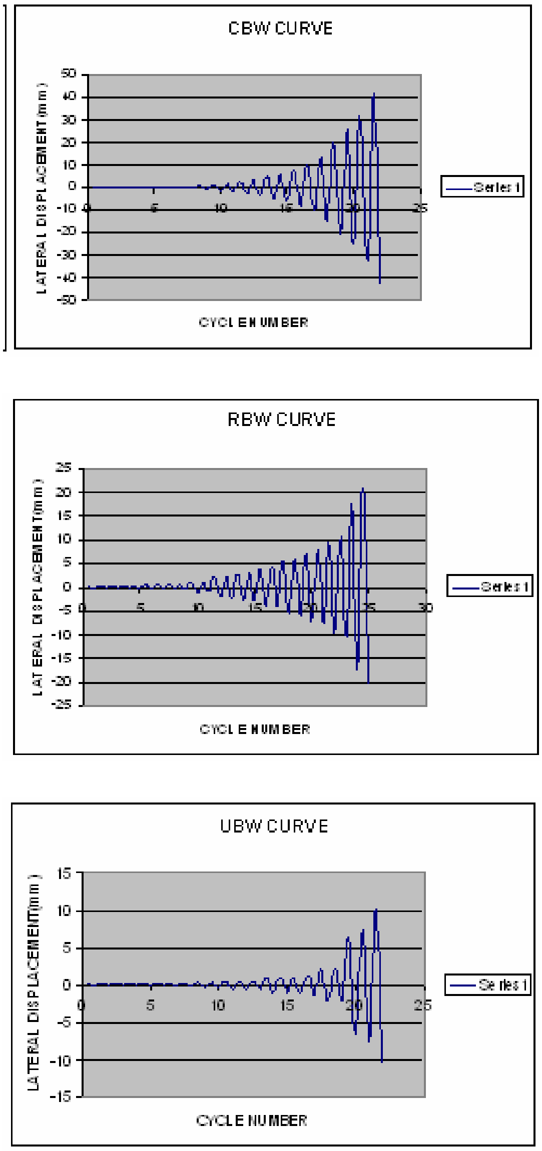


شکل ٦ ترک خوردگی نمونه‌ی CBW در دوره‌های متوالی و الگوی شکست

در دیوار آجری کلاف بندی شده، شروع ترک خوردگی در دوره‌ی دهم و در بار جانبی ۵۰/۵ کیلو نیوتن بوده و از دوره شانزدهم به بعد به رقم اعمال تغییر مکان‌های زیاد، ترک خوردگی‌های جدیدی در قسمت آجرکاری مشاهده نشد و تنها ترک‌های به وجود آمده در قاب بتنی افزایش می‌یافت. شکل (٦) ترک خوردگی این نمونه را در دوره‌های متوالی و الگوی شکست آن را نمایش می‌دهد.

جابه‌جایی. یکی دیگر از کمیت‌هایی که در تمام مراحل بارگذاری اندازه گیری شده، جابه‌جایی است. مقادیر ثبت شده نشان می‌دهد که جابه‌جایی دیوارها قبل از مرحله‌ی ترک خوردگی ناچیز بوده؛ به طوری که در تمام نمونه‌های: UBW، RBW و CBW در لحظه‌ی مشاهده‌ی اولین ترک‌خوردگی به ترتیب، تغییر مکان‌های ۱/٦۳، ۲/۱۳ و ۲/۷۸ میلی‌متر اتفاق افتاده است. این نتایج بازگو کننده‌ی این واقعیت است که دیوارهای آجری در مرحله‌ی ارتجاعی، سختی بالایی دارند.

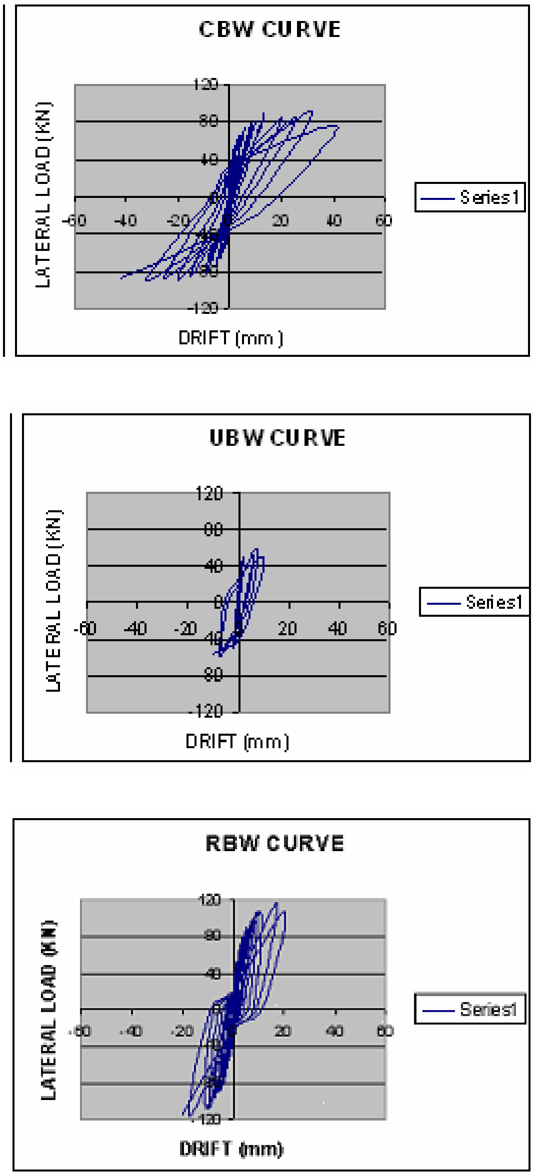
با توجه به تغییر مکان‌های ثبت شده در لحظه‌ی انهدام نمونه‌ها، مشاهده می‌شود که در نمونه‌ی غیر مسلح UBW، حداکثر تغییر مکان جانبی در لحظه‌ی انهدام به ۱۰/۲ میلی‌متر محدود شده است؛ حال آن‌که در نمونه‌ی کلاف بندی شده‌ی CBW و نمونه‌ی مسلح RBW، تغییر مکان‌های جانبی در لحظه‌ی انهدام به ترتیب؛ ٤۱/۲۵ و ۲۰/۷ میلی‌متر می‌باشد. این اختلافِ نسبتاً فاحش که در جابه‌جایی نمونه‌ها مشاهده می‌گردد، نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب کلاف‌های بتنی و میل‌گردهای افقی و قائم در بالا بردن شکل‌پذیری دیوارهای آجری است. تغییرات جابه‌جایی افقی متناظر با هر دوره در شکل (۷) ارائه شده است.



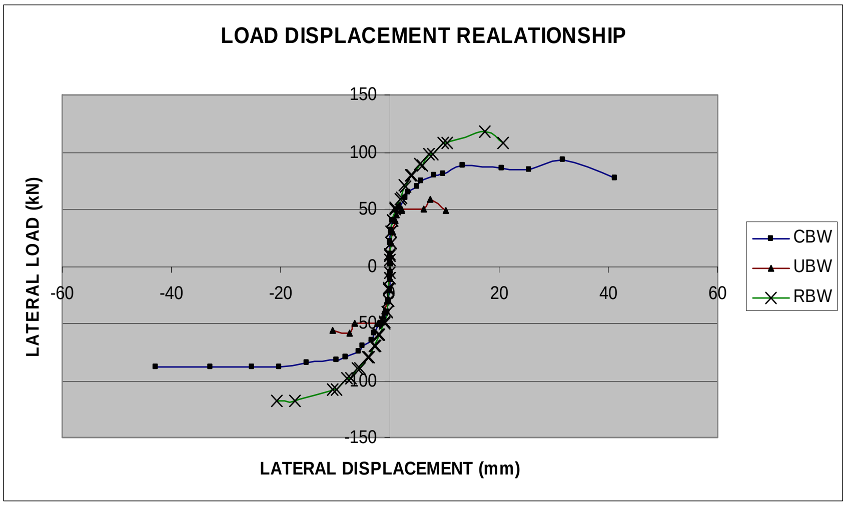
شکل ۷ جابه‌جایی نمونه‌های مختلف دیوار آجری

رفتار چرخه‌ای (هیسترزیس). برای دیوارهای مورد مطالعه‌ی منحنی رفتار چرخه‌ای بار جانبی؛ جابه‌جایی افقی در شکل (۸) ترسیم شده است. با دقت در این منحنی‌ها می‌توان دریافت که سختی و مقاومت دیوار آجری مسلح RBW در مقایسه با دیوار UBW افزایش قابل توجهی داشته است، ولی مقدار جذب و استهلاک انرژی آن خیلی چشم‌گیر نیست؛ در حالی که دیوار کلاف‌بندی شده‌ی CBW علاوه بر افزایش سختی، قدرت جذب و استهلاک انرژی، به طور چشم‌گیری افزایش یافته است.

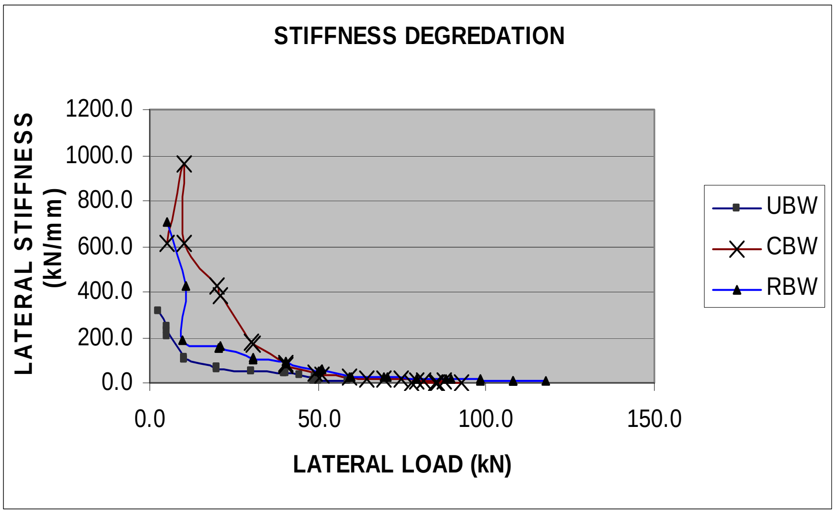
هم‌چنین در شکل‌های (۹) و (۱۰) منحنی‌های پوش مقاومت و سختی به نیروی جانبی برای نمونه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.



شکل ۸ منحنی‌های چرخه‌ای نمونه‌های مختلف دیوار آجری



شکل ۹ مقایسه‌ی منحنی پوش نمونه‌های مختلف دیوار



شکل ۱۰ مقایسه‌ی تغییرات سختی جانبی به تغییرات نیرو

نتیجه‌گیری

۱. رفتار دیوارهای آجری با اضافه شدن میل‌گردهای افقی و قائم در وسط دیوار و یا کلاف‌های افقی و قائم، بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند.

۲. ضعف عمده‌ی دیوارهای آجری که با الگوی ساخت و ساز متداول ساخته می‌شوند، کمبود مقاومت برشی است.

۳. دیوارهای آجری مسلح که با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ساخته می‌شوند، در برابر بارهای جانبی نسبت به نمونه‌های کلاف‌بندی شده و نمونه‌ی غیر مسلح، از

خود مقاومت بیشتری نشان می‌دهند.

٤. در دیوارهای آجری مسلح، میل‌گردهای افقی، مانع از باز شدن ترک‌های ایجاد شده در لایه‌های آجرکاری شده و قابلیت تحمل نیروهای جانبی توسط دیوار را افزایش می‌دهد.

٥. دیوارهای آجری کلاف‌بندی شده، دارای شکل‌پذیری خوبی بوده و در استهلاک انرژی به خوبی عمل می‌کند.

٦. سختی دیوار آجری مسلح بیشتر از سایر نمونه‌ها می‌باشد؛ حال آن‌که شکل‌پذیری آن از نمونه‌ی کلاف‌بندی شده کم‌تر است.

۷. در نمونه‌های کلاف‌بندی شده، پس از شکست آجرکاری، کلاف‌های بتنی وارد عمل شده و در تحمل بار جانبی ایفای نقش می‌کنند. در این نمونه‌ها قسمت آجرکاری پس از شکست، تنها به صورت پرکننده عمل می‌کنند.

۸. توزیع ترک‌های ریز در سطح دیوار و شکستگی آجرها در نمونه‌ی مسلح، نشان می‌دهد که در این نمونه از مصالح به صورت بهینه استفاده شده است.

مراجع

۱. تسنیمی، عباسعلی، "رفتار دیوارهای آجری مندرج در استاندارد ۲۸۰۰"، نشریه شماره گ- ٤۰٤ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۳).

۲. مقدم، حسن، "طرح لرزه‌ای ساختمان‌های آجری"، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۷۷).

3. Hendry, W. H., “Structural brickwork”, McMillan Press, (1992).

4. Shing, P.B., Schuller, M. Hoskere, V.S., “Strength and ductility of reinforced masonry shear walls”, *5th North American Masonry Conference*, June 3-6, (1990).

5. Larbi, A., Harris, H.G., “Seismic performance of low aspect ratio reinforced block masonry shear walls”, *Proceedings of 4th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 2, May 20-24, (1990).

6. Magenes, G., Calvi, G.M., “Cyclic behavior of brick masonry walls”, Proceedings of the 10th WCEE, Madrid, Spain, July 19-24, (1992).

7. Jankolovski, E., Parsanejad, S., “Earthquake resistance of unreinforced clay brick masonry walls”, *Proceedings of the 2nd International Conference of Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, Iran, May 15-17, (1995).

8. Yoshimura, K., Kikuchi, K., Okamato, Z., Sanchez, T., “Effect of vertical and horizontal wall reinforcement of seismic behavior of confined masonry walls”, Proceedings of the 11th WCEE, Mexico, (1996).

9. Giordano, A., Mele, E., De Luca, A., “Modeling of historical Masonry structures: comparison of different approaches through a case study”, Engineering Structures, 24, 1057-1069, (2002).

10. Padovani, C., “Numerical modeling of the structural behavior of Butis bell tower”, *Journal of Cultural Heritage*, 5, 371-378, (2004).